

## 单层绕组：构造方法和步骤

### ➤ 连线圈和线圈组：

- 将一对极域内属于同一相的某两个圈边连成一个线圈（一对极下共有 $q$ 个线圈，为什么？）
- 将一对极域内属于同一相的 $q$ 个线圈连成一个线圈组（ $P$ 对极共有多少个线圈组？ $P$ 个）

以上连接应符合电势相加原则



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 单层绕组：构造方法和步骤

### ➤ 构造每相绕组：

- 将属于同一相的 $p$ 个线圈组连成一相绕组，并标记首尾端
- 可以串联与并联，按照电势相加原则

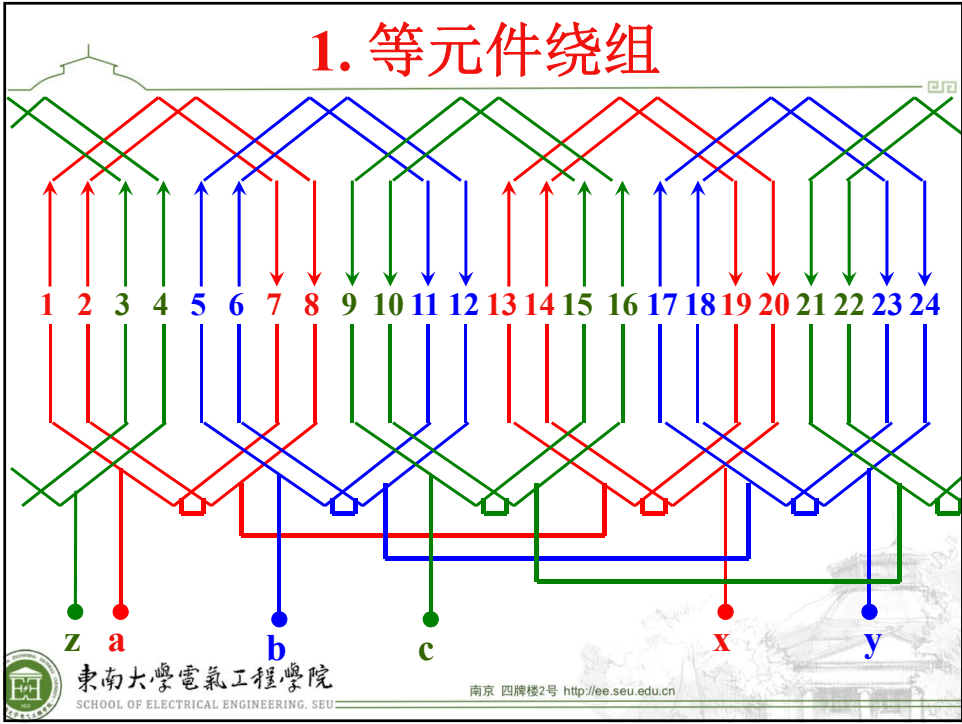
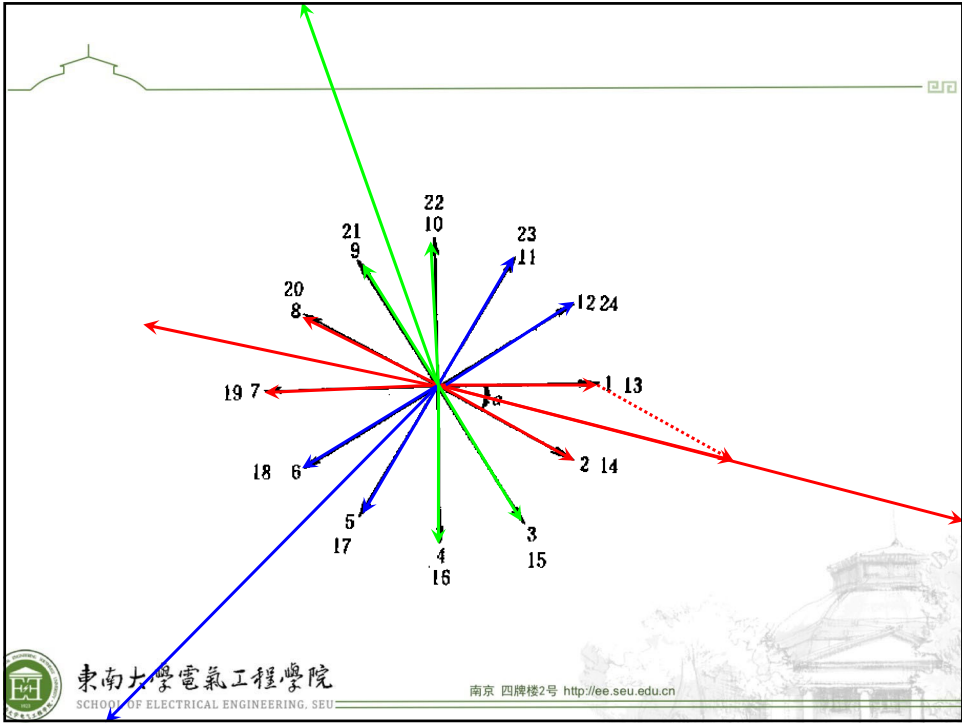
### ➤ 连三相绕组：

- 将三个构造好的单相绕组连成完整的三相绕组
- $\Delta$  接法或者  $Y$  接法

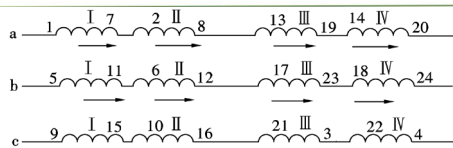


東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>



## 1. 等元件绕组



- 属于 **a** 相 **8** 个槽，即 **1、2、7、8、13、14、19、20**
- 每个元件都是整距， $y=\tau=6$  槽，即每元件的跨距为 **6** 个槽，同为单层，每相每对极可以连接成一个元件组
- **2** 对极，每相 **2** 个元件组，**1-7-2-8，13-19-14-20**
- 元件组之间可串联或并联形成不同并联支路数
- 单层绕组每相有  $p$  个元件组，如串联方式连接，则并联支路  $a=1$ ，相电势  $E=pE_q$ ，相电流  $I=I_c$

$$\text{每相功率 } P=EI=pE_qI_c$$



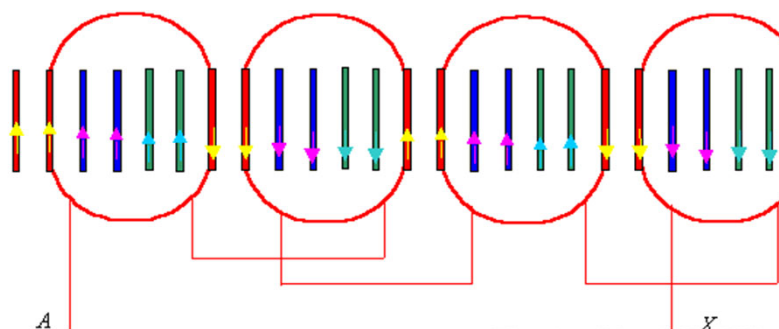
東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 2. 链式绕组

- 链式绕组适用于  $q=2$ ， $p>1$  的小型异步电机。  
例如  $m=3$ ， $p=2$ ， $Z=24$ ， $q=2$ ， $\alpha=30^\circ$

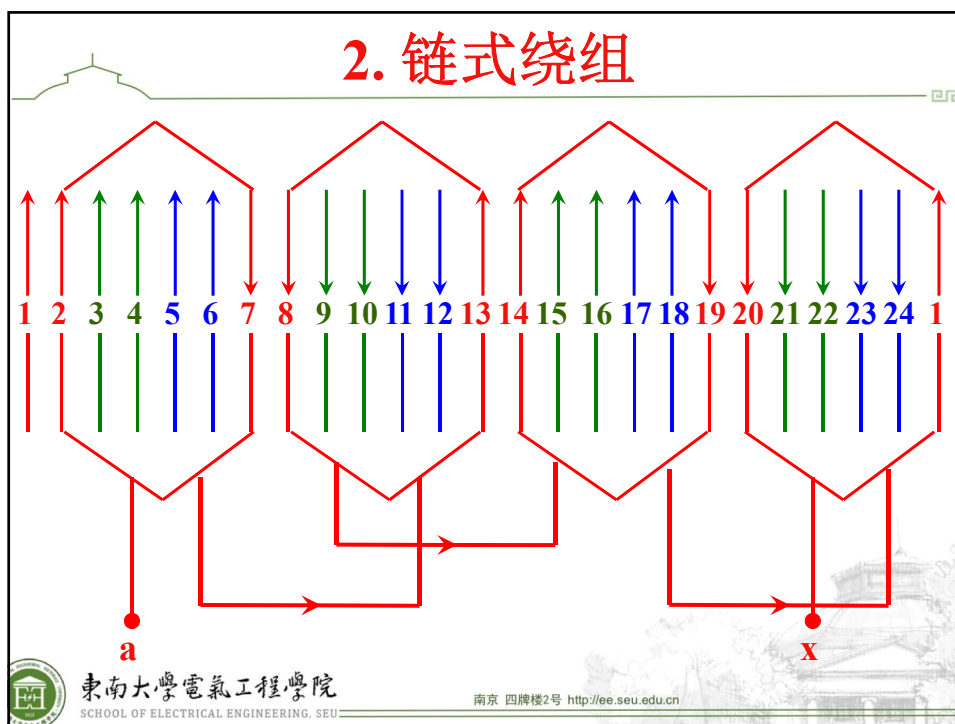
$$y = 5 < \tau = 6$$



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

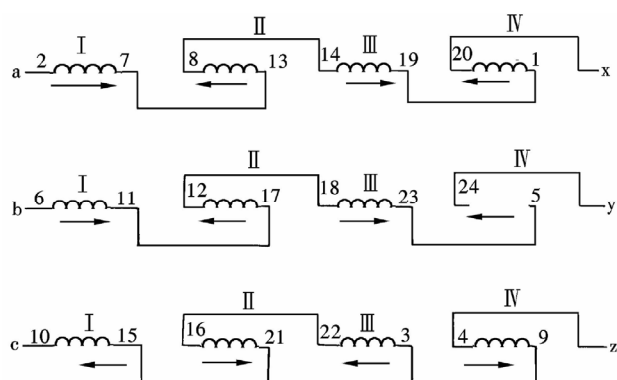
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 2. 链式绕组



## 2. 链式绕组

- 链式绕组的每个元件都是短距
- 从相电势和磁势角度看——具有整距性质



### 3. 交叉式绕组

- 交叉式绕组适用于  $q=3$  的小型异步电机

例如:  $m=3$ ,  $p=2$ ,  $Z=36$ ,  $q=3$ ,

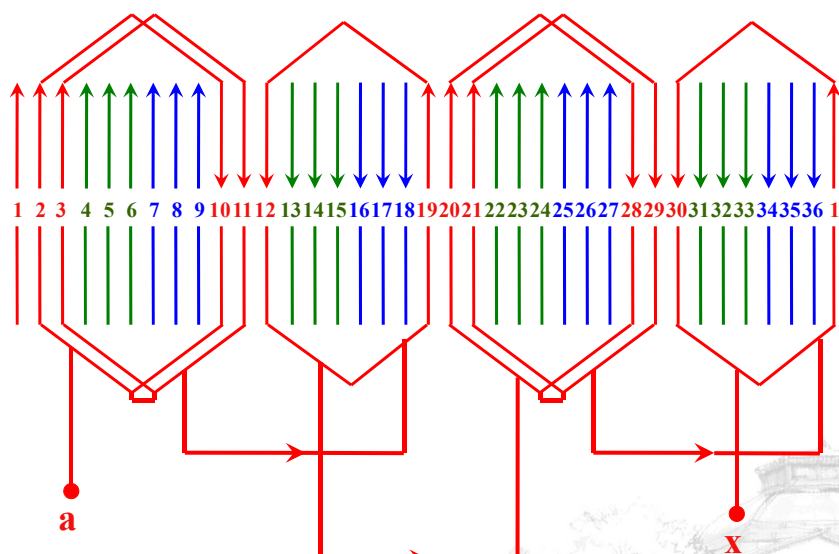
槽距角  $\alpha=p*360/Z=20^\circ$



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2号 <http://ee.seu.edu.cn>

### 3. 交叉式绕组



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2号 <http://ee.seu.edu.cn>

### 3. 交叉式绕组

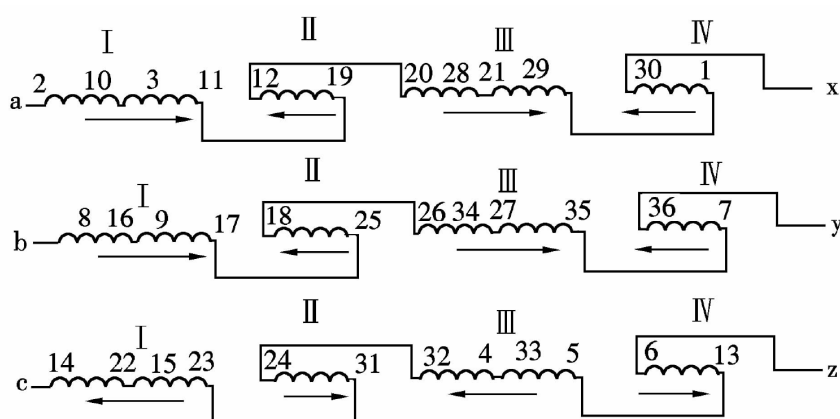
- 属于a相的元件有 1、2、3、10、11、12、19、20、21、28、29、30共 12 个元件边
- 2-10, 3-11相连, 是节距为8的(大)线圈
- 12-19相连, 节距为7的(小)线圈
- 20-28, 21-29相连, 节距为8的大线圈
- 30-1相连, 节距为7的小线圈
- 依次二大一小交叉布置为交叉式绕组
- b相和c相的连接规律与a相完全一样
- $\alpha=20^\circ$ , 相间相差6个槽, 如第2槽为a相首端, 则b相首端是第8槽, c相首端是第14槽



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

### 3. 交叉式绕组



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

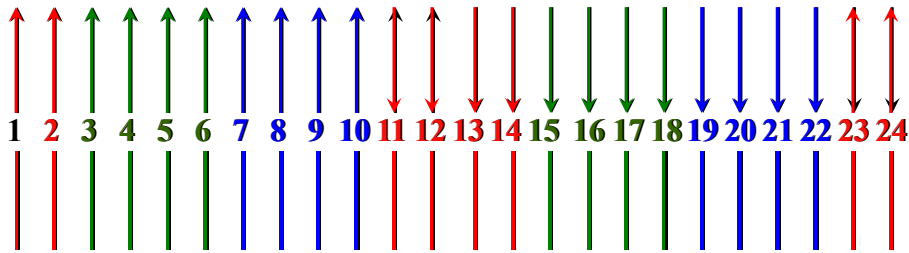
南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 4. 同心式绕组

- 对于每极每相槽数  $q$  较大的小型交流电机

例如:  $m=3$ ,  $p=1$ ,  $Z=24$ ,  $q=4$ ,

槽距角  $\alpha=p*360/Z=15^\circ$



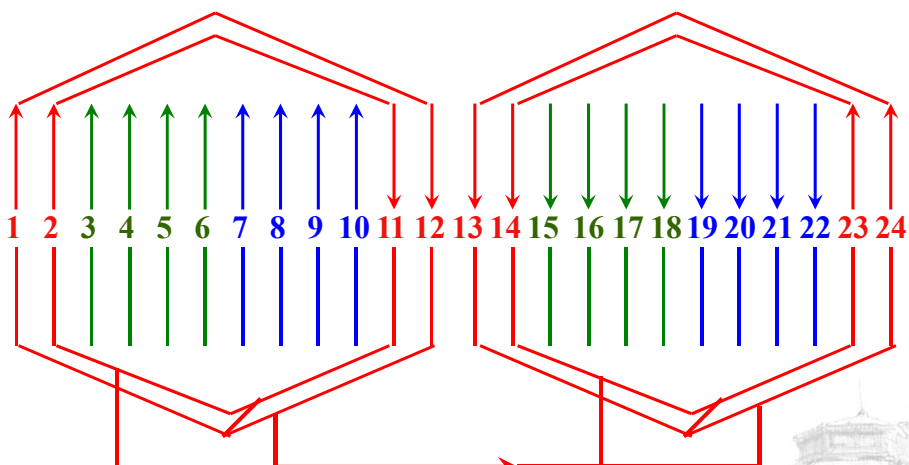
极 对	相			带		
	a	c'	b	a'	c	b'
第一对极	23, 24,	3, 4,	7, 8,	11, 12,	15, 16,	19, 20,
	5, 6	9, 10	13, 14	17, 18	21, 22	



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 4. 同心式绕组



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 4. 同心式绕组

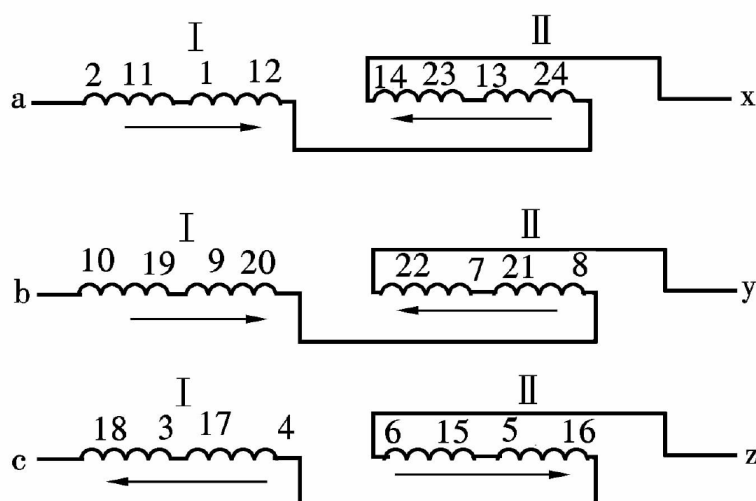
- 属于a相的有8个元件边
  - 1与12相连构成一个大线圈
  - 2与11相连构成一个小线圈
  - 一大一小组成一个同心式线圈组
- 13与24相连，14与23相连组成另一同心式线圈组
- 把两个线圈组反向串联，以保证电势相加



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 4. 同心式绕组



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>



## 小结：三相单层绕组

- **外形**：元件节距可以**整距**、**短距**或**长距**，合理选用绕组型式，可以节省铜线，简化工艺
- **相电势**：采用**槽电势星形图**。绕组型式不同只不过是元件构成方式不同、导体连接先后次序不同，而构成绕组的导体所占的槽号是相同的，都在属两个相差**180°**电角度的相带内
- **三相单层绕组**的节距因数均为**1**，具有**整距绕组**性质
- **优点**：绕组因数中只有分布因数，基波绕组因数较高，无层间绝缘，槽利用率高
- **缺点**：对削弱高次谐波不利，无法改善电势波形和磁势波形，漏电抗较大
- **使用**：一般用于**10kW**以下小功率电机



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 三相双层绕组

- **双层**——槽中有两个元件边，分为上下两层放置
  - 靠近槽口的为上层，靠近槽底部为下层
  - 每个元件均有一个边放在上层，一个边放在另一槽的下层
  - 元件两个元件边的**相隔距离**取决于**节距**
- **元件的总数等于槽数**，每相元件数即为槽数的**三分之一**(对三相电机而言)



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 三相双层绕组

构造方法和步骤（举例： $Z=24$ ， $2p=4$ ，整距， $m=3$ ）

### ➤ 分极分相：

- 将总槽数按给定的极数均匀分开（ $N$ 、 $S$ 极相邻分布），并标记假设的感应电势方向
- 将每个极域的槽数按三相均匀分开，三相在空间错开  $120$  电角度

### ➤ 连线圈和线圈组：

- 根据给定的线圈节距连线圈（上层边与下层边合一个线圈）
- 以上层边所在槽号标记线圈编号
- 将同一极域内属于同一相的某两个圈边连成一个线圈
- 将同一极域内属于同一相的  $q$  个线圈连成一个线圈组



東南大學電氣工程學院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 三相双层绕组

### ➤ 连相绕组：

- 将属于同一相的  $2p$  个线圈组连成一相绕组，并标记首尾端
- 串联与并联，电势相加原则。按照同样的方法构造其他两相

### ➤ 连三相绕组：

- 将三个构造好的单相绕组连成完整的三相绕组
- $\Delta$  接法或者  $Y$  接法



東南大學電氣工程學院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 三相双层绕组

例：设相数  $m=3$ ，极数  $2p=4$ ，槽数  $Z=24$ ，则每极每相槽数  $q=2$ ，槽距角  $\alpha=30^\circ$

步骤：

➤ 绘槽电势星形图

➤ 分相：使各相电势最大，且三相电势对称

➤ 绘绕组元件平面展开图

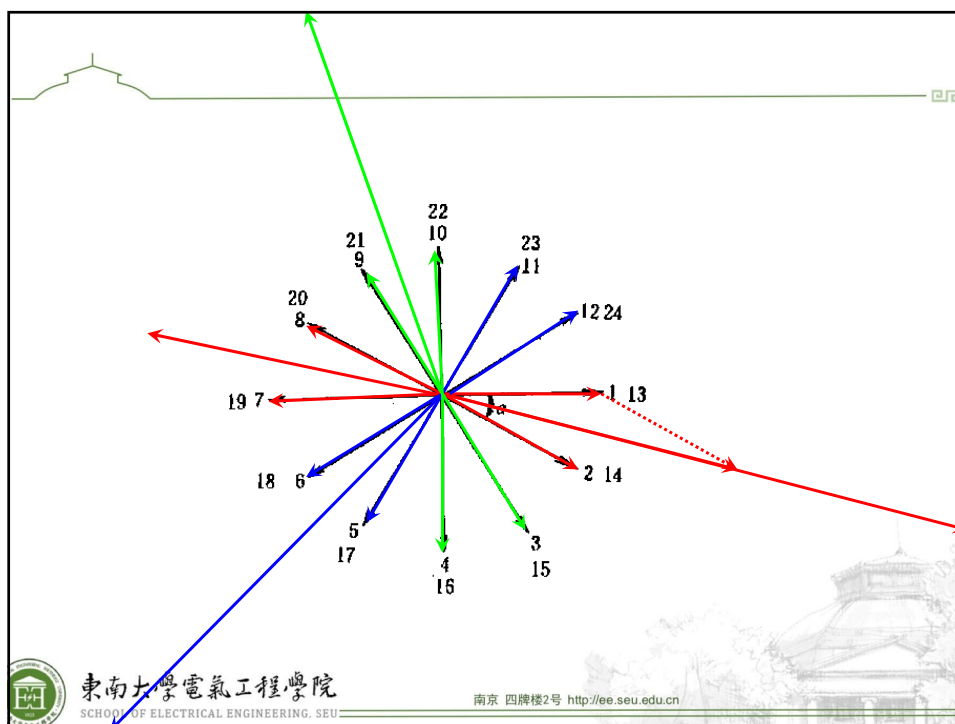
- 画出等距离的24根平行线段以表示槽号（表示各元件的上层边）
- 在实线近旁画出虚线以表示下层元件边
- 把各槽按顺序编号，取槽号作为上层边的代号，取槽号加注上标“ $\cdot$ ”作为下层边代号



東南大學電氣工程學院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

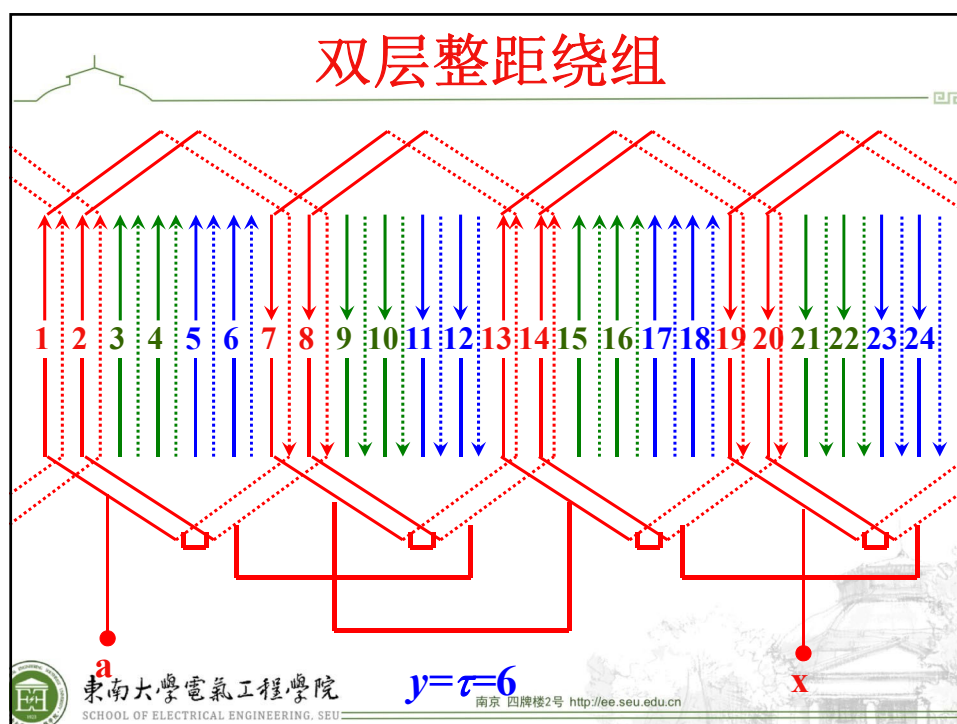
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>



東南大學電氣工程學院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>



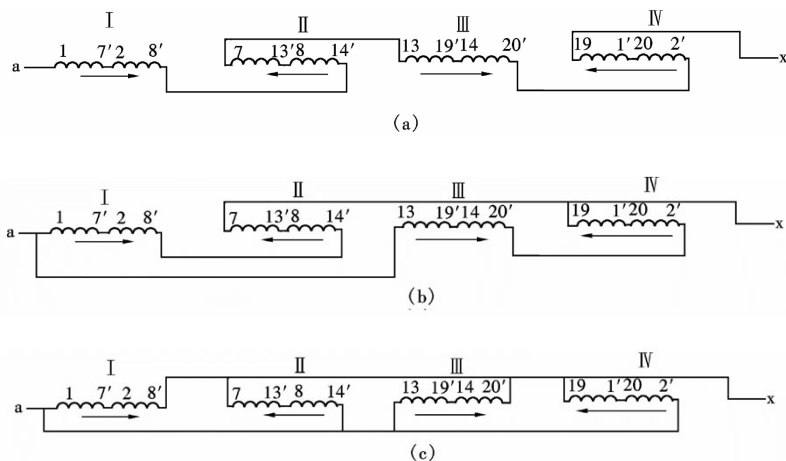
### 双层整距绕组

- ▶ **整距绕组**：跨距  $y=\tau=6$ ，每个元件的**上层边**与**下层边**相距**6个槽**。例如第**1槽**的上层边应与第**7槽**的下层边接成一个元件。同理 **2-8'**、**3-9'**、**4-10'**，...相连，共计有**24个元件**
- ▶ **a相** **8个元件**分成**4个元件组**，各元件组的连接规律为 **1-7' -2-8'**，**7-13' -8-14'**，**13-19' -14-20'**，**19-1' -20-2'**，分别用**I、II、III、IV**表示
- ▶ 当磁场切割绕组时，该四个元件组的电势**大小相等**，**I、III组**电势时间上同相，**II、IV组**电势与**I、III组**电势反相
- ▶ 各元件组可以串联、并联、或一半串联后再并联。绕组可以有不同连接方式，**当通以电流形成4极磁场**

东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 双层整距绕组



说明并联支路 (a)  $a=1$ ; (b)  $a=2$ ; (c)  $a=4$

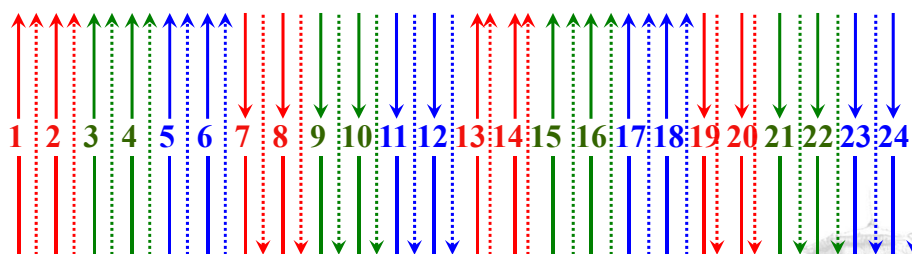


東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

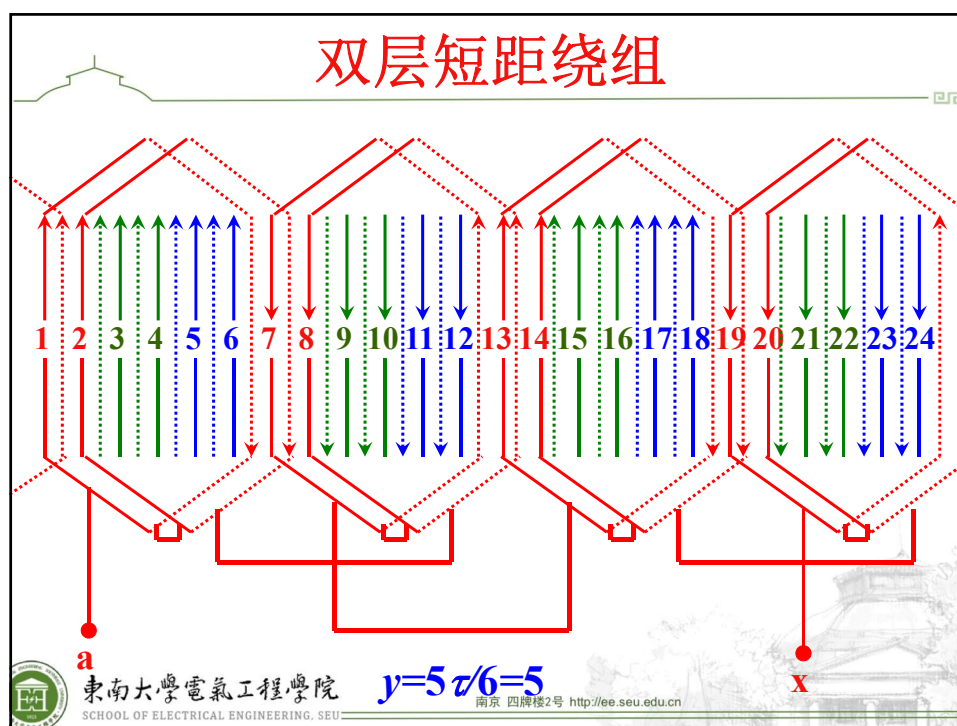
## 双层短距绕组

- 取  $y=5$ , 每个元件跨 5 个槽
- $a$  相的 4 个元件组, 分别是 1-6'-2-7', 7-12'-8-13', 13-18'-14-19', 19-24'-20-1'

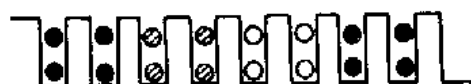


東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

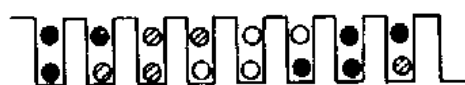
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>



- **短距时**，在某些槽中，其上层元件边与下层元件边可能不属一相，在这些槽中，上层与下层之间有较大电位差，应加强层间绝缘
- **短距时**，同一相的上、下层导体错开了一个距离，用短距角  $\beta$  表示，表示一个元件的上层导体电势和下层导体电势的相位差是  $180^\circ - \beta$  电角度，合成电势时应计及节距因数  $K_p$

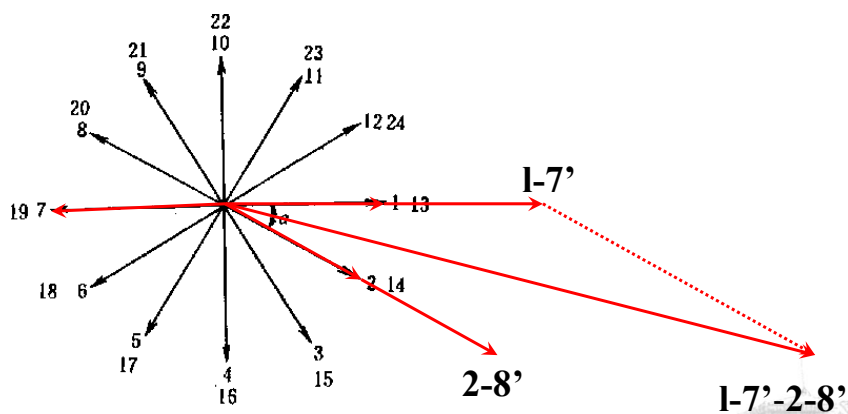


整距绕组  $y = \tau = 6$



短距绕组  $y = \frac{5}{6}\tau = 5$

## 双层整距绕组



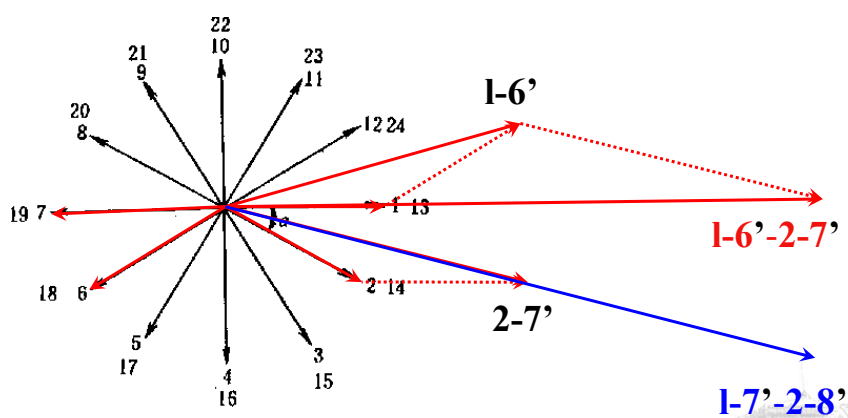
- 1-7'-2-8', 7-13'-8-14', 13-19'-14-20', 19-1'-20-2'



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 双层短距绕组



- 1-6'-2-7', 7-12'-8-13', 13-18'-14-19', 19-24'-20-1'



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

### 3. 绕组的感应电动势

- 线圈的电动势
- 线圈组的电动势
- 相绕组的电动势



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

### I. 线圈的电动势

- 电势决定于**磁场**的大小与分布以及磁场与元件间的**相对运动**
- 设气隙磁场按**正弦**规律分布，则每极**磁通量**

$$\phi = \frac{2}{\pi} B_m l \tau$$

- 气隙磁场每转过**一对磁极**，线圈中的电势便经历一个周期，**电势的频率用每秒转过的磁极对数表示**

极对数  $P$ ，转速  $n$  (r/min)，则频率  $f = \frac{pn}{60}$

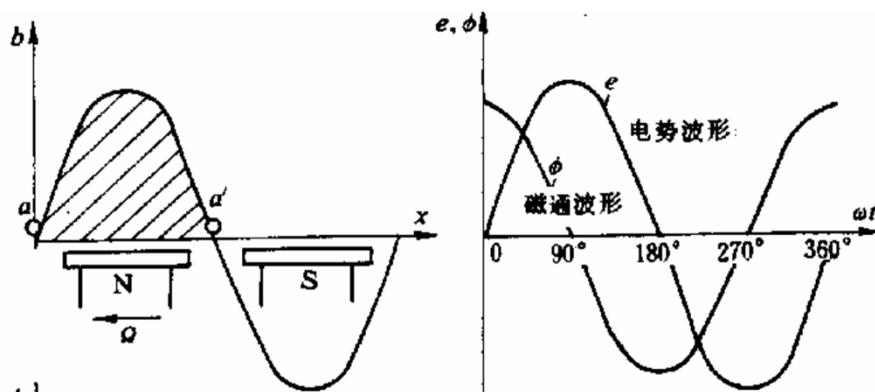


東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>



# I. 线圈的电动势



$t=0$ , 线圈匝链一个磁极的全部磁通

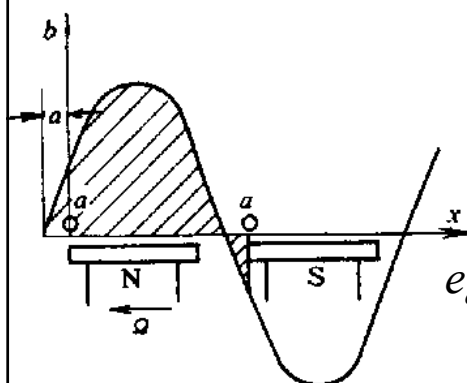


東南大學電氣工程學院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

# I. 线圈的电动势



设元件匝数为  $N_c$ , 感应电势的瞬时值为

$$e_c = -N_c \frac{d\phi}{dt} = \omega N_c \phi_m \sin \omega t$$

有效值

$$\phi = \phi_m \cos \omega t$$

$$E_c = \frac{\omega N_c \phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_c \phi_m$$



東南大學電氣工程學院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## I. 线圈的电动势

导体中的感应电势  $e = Blv$

- 设原点在转子上  $B=0$  处,

即  $t=0$  时,  $B=0$

- 分析导体  $a$  中的感应电势

$t=0$  时,  $B_a=0$ ,  $e_a=B_a l v$

经过时间  $t$ , 转动了  $\omega t$ ,  $B_a=B_m \sin \omega t$ ,

$e_a=B_a l v = B_m l v \sin \omega t$

有效值  $E_a = \frac{B_m l v}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} B_m l \tau \frac{pn}{60} = 2.22 f \phi_m$

$$\begin{aligned} \because v &= \omega r = \frac{2\pi n}{60} r = \pi D_i \frac{n}{60} \\ \text{且 } \tau &= \pi D_i / 2p \\ \therefore v &= 2p\tau \frac{n}{60} \\ \phi &= \frac{2}{\pi} B_m l \tau \\ f &= \frac{pn}{60} \end{aligned}$$



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## I. 线圈的电动势

- 整距线圈

导体  $a'$  与导体  $a$  相距一个极距, 即  $180^\circ$  电角度

- 单匝元件电势为

$$\begin{aligned} \dot{E}_{aa'(y=\tau)} &= \dot{E}_a - \dot{E}_{a'} = [2.22 f \phi_m] \angle 0^\circ - [2.22 f \phi_m] \angle -180^\circ \\ &= [4.44 f \phi_m] \angle 0^\circ \end{aligned}$$



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## I. 线圈的电动势

- 短距线圈

导体 **a'** 与导体 **a** 相距非一个极距，差一短距角  $\beta$

- 单匝元件电势为

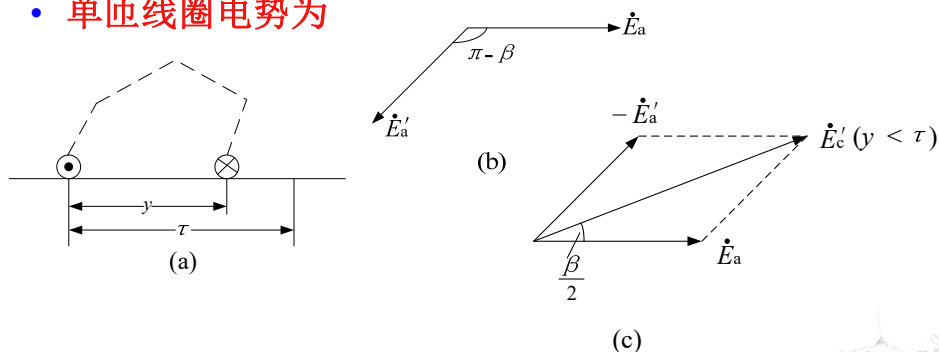
$$\begin{aligned}\dot{E}_{aa'(y<\tau)} &= \dot{E}_a - \dot{E}_{a'} = [2.22 f \phi_m] \angle 0^\circ - [2.22 f \phi_m] \angle -(180^\circ - \beta) \\ &= [4.44 f \phi_m \cos \frac{\beta}{2}] \angle \frac{\beta}{2}\end{aligned}$$

## I. 线圈的电动势

- 短距线圈

导体 **a'** 与导体 **a** 相距非一个极距，差一短距角  $\beta$

- 单匝线圈电势为



$$\begin{aligned}\dot{E}_{aa'(y<\tau)} &= \dot{E}_a - \dot{E}_{a'} = [2.22 f \phi_m] \angle 0^\circ - [2.22 f \phi_m] \angle -(180^\circ - \beta) \\ &= [4.44 f \phi_m \cos \frac{\beta}{2}] \angle \frac{\beta}{2}\end{aligned}$$

## I. 线圈的电动势

- 短距元件的电势小于整距元件的电势  
设短距角为  $\beta$  电角度

- 绕组的节距因数  $K_p$

$$K_p = \frac{E_{aa'(y<\tau)}}{E_{aa'(y=\tau)}} = \frac{4.44 f \phi_m \cos \frac{\beta}{2}}{4.44 f \phi_m} = \cos \frac{\beta}{2}$$

$$E_c = N_c E_{aa'(y<\tau)} = 4.44 f N_c K_p \phi_m$$



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## II. 线圈组的电动势

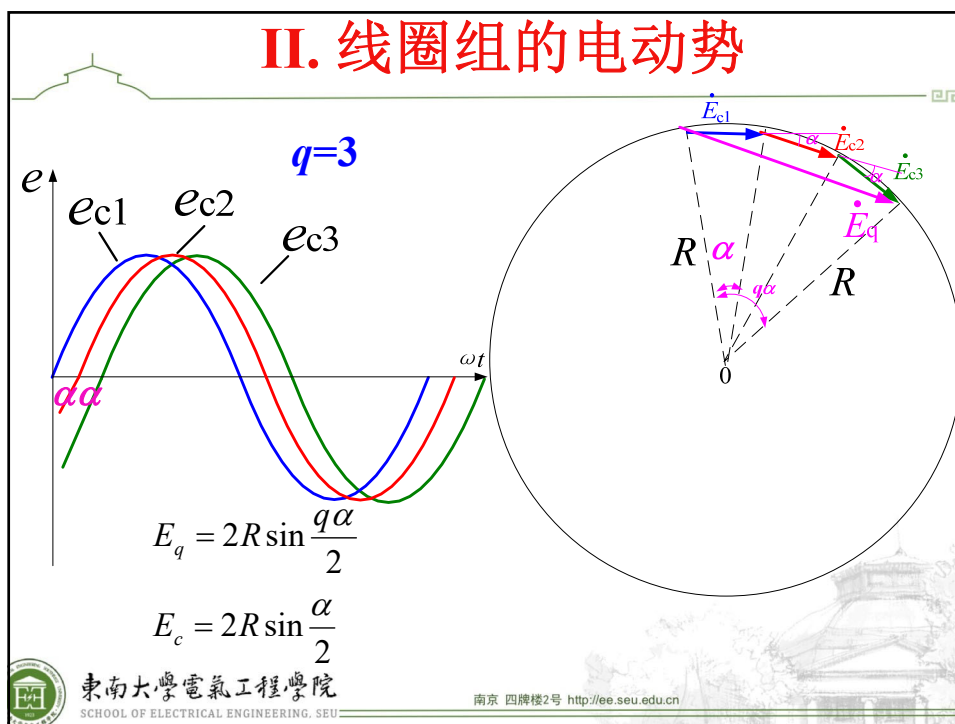
- 电机采用分布绕组，每线圈组有  $q$  个线圈，线圈组电势即为  $q$  个线圈的电势之和
- 通常各线圈匝数相等，所以各线圈电势的幅值相等
- 由于各线圈空间位置依次相位差  $\alpha$  电角度，各线圈电势的时间相位差也为  $\alpha$  角度



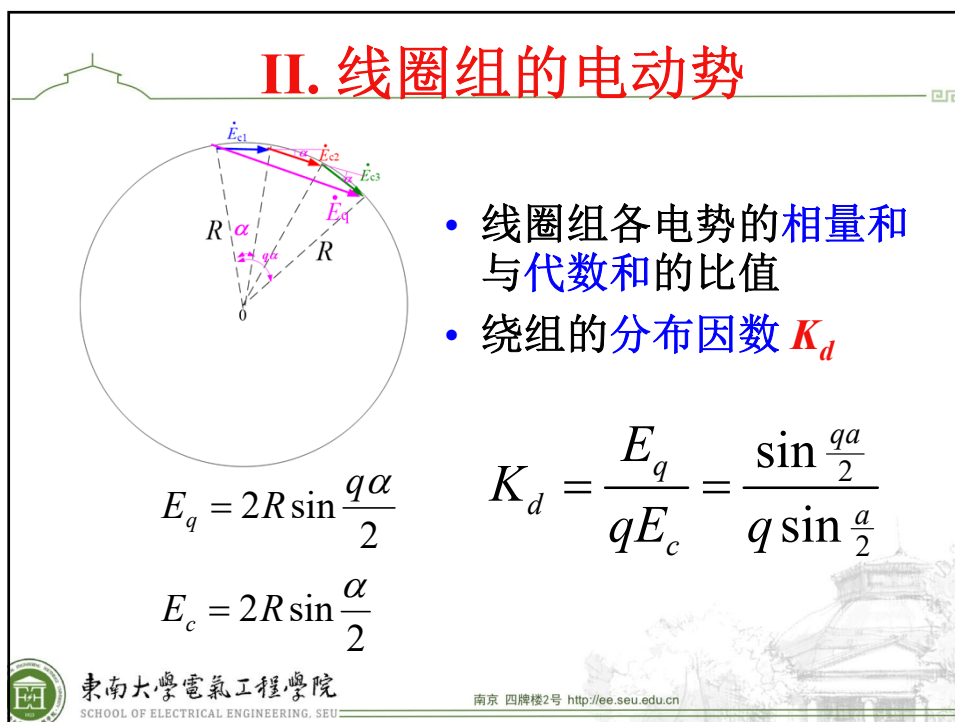
東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## II. 线圈组的电动势



## II. 线圈组的电动势



## II. 线圈组的电动势

- 绕组因数  $K_N = K_d K_p$ ，反映分布和短距对电势的影响

$$K_d = \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} \quad K_p = \cos \frac{\beta}{2}$$

$$E_q = K_d q E_c = 4.44 f q N_c K_p K_d \phi_m = 4.44 f q N_c K_N \phi_m$$

$qN_c$  为一个线圈组串联匝数



東南大學電氣工程學院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## III. 相绕组的电动势

### ➤ 单层绕组

- 每对极每相有1个线圈组
- $p$ 对极电机，每相有 $p$ 个线圈组，可以串联、并联或混合连接
- 如有 $a$ 条并联支路，则每相电势为

$$E_\phi = \frac{p}{a} E_q = 4.44 f \frac{pqN_c}{a} K_N \phi_m = 4.44 f N K_N \phi_m$$

单层绕组每相串联匝数  $N = \frac{pqN_c}{a}$



東南大學電氣工程學院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

### III. 相绕组的电动势

#### ➤ 双层绕组

- 每对极每相有**2**个线圈组
- **$p$** 对极电机，每相有 **$2p$** 个线圈组，可以串联、并联或混合连接
- 如有 **$a$** 条并联支路，则每相电势为

$$E_{\phi} = \frac{2p}{a} E_q = 4.44 f \frac{2pqN_c}{a} K_N \phi_m = 4.44 f N K_N \phi_m$$

双层绕组每相串联匝数  $N = \frac{2pqN_c}{a}$



東南大學電氣工程學院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

### 每相串联匝数

- 设每槽导体数为 **$S$** ，对单层绕组 **$N_c=S$** ，对双层 **$N_c=S/2$**

$$N = \frac{pqS}{a}$$

- **$N$**  为每相物理（实有）串联匝数
- **$NK_N$**  为每相有效串联匝数
- **$K_N$**  反映绕组因采用短距和分布而使每相电势减小的程度

$$E_{\phi} = 4.44 f N K_N \phi_m$$



東南大學電氣工程學院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 感应电势与绕组匝链磁通的相位关系

- $e = -N_c \frac{d\phi}{dt}$  即感应电势在时间上滞后磁通  $90^\circ$
- **变压器**：主磁通本身随时间变化
- **旋转电机**：气隙磁密波大小不变，随时间围绕绕组而旋转



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 绕组因数计算举例

例：电机每极下有9槽，试计算下列情况下的绕组分布因数

- (1) 每相绕组分布在9槽中；
- (2) 每相绕组占每极2/3槽（即 $120^\circ$ 相带）；
- (3) 三相绕组：每相三个相等绕组分布在 $60^\circ$ 相带中。

解：由题中条件，即  $q=9$

- (1) 绕组分布在槽中，则槽距角为  $\alpha = \frac{180^\circ}{9} = 20^\circ$

分布因数

$$K_d = \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = 0.64$$



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>



## 绕组因数计算举例

电机每极下有9槽，试计算下列情况下的绕组分布因数

- (1) 每相绕组分布在9槽中；
- (2) 每相绕组占每极2/3槽（即120°相带）；
- (3) 三相绕组：每相三个相等绕组分布在60°相带中。

解：（2）120°相带， $q=6$ ， $q\alpha=120^\circ$ ， $\alpha=20^\circ$

分布因数

$$K_d = \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin \frac{120^\circ}{2}}{6 \sin \frac{20^\circ}{2}} = 0.827$$



東南大學電氣工

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

## 绕组因数计算举例

电机每极下有9槽，试计算下列情况下的绕组分布因数

- (1) 每相绕组分布在9槽中；
- (2) 每相绕组占每极2/3槽（即120°相带）；
- (3) 三相绕组：每相三个相等绕组分布在60°相带中。

解：（3）三相绕组60°相带， $q=9/3=3$ ， $q\alpha=60^\circ$ ， $\alpha=20^\circ$

分布因数

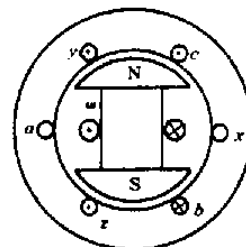
$$K_d = \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin \frac{60^\circ}{2}}{3 \sin \frac{20^\circ}{2}} = 0.96$$



東南大學電氣工

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

## 4. 谐波电动势及其削弱方法



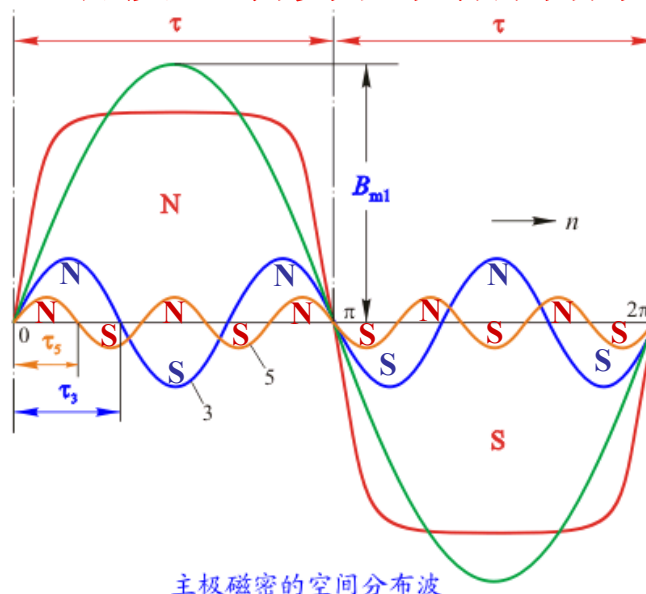
- 以三相凸极同步电机为例
- 磁场是由**转子电流**励磁产生的
- **气隙磁通密度**实际是一个**平顶波**，可分解出**基波**和各**奇次谐波**（由于**对称性**）
- **基波磁场**和各**次谐波磁场**均随转子而旋转
- 在**定子绕组**中不仅感应**基波电势**，还感应有各**次谐波电势**



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 4. 谐波电动势及其削弱方法



东南大

主极磁密的空间分布波

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

## 4. 谐波电动势及其削弱方法

$\nu$  次谐波电势  $E_\nu = 4.44 f_\nu N K_{N\nu} \phi_{m\nu}$

$$p_\nu = \nu p \quad f_\nu = p_\nu \frac{n_1}{60} = \nu \frac{pn_1}{60} = \nu f_1$$

$$\tau_\nu = \frac{\tau}{\nu} \quad \phi_\nu = \frac{2}{\pi} B_{m\nu} l \frac{\tau}{\nu}$$

$$K_{N\nu} = K_{d\nu} \cdot K_{p\nu} = \frac{\sin q \frac{\nu\alpha}{2}}{q \sin \frac{\nu\alpha}{2}} \cos \frac{\nu\beta}{2}$$



東南大學電氣工程學院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

## 谐波电势的影响

- 高次谐波电势对电势大小影响较小
- 主要影响电势的波形
  - 在基波电势上叠加有高次谐波电势使波形变坏
  - 引起发电机损耗增加，温升增高、效率降低
  - 在输电线路上，谐波电势产生高频干扰，使输电线路时近的通信设备不能正常工作
  - 输电线路自身有电感和电容，在某一高频条件下，将产生自激振荡而产生过电压
  - 在异步电机中产生有害的附加转矩和损耗



SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

## 消除和减小高次谐波电势的方法

- 从磁场角度：使气隙磁场接近正弦分布，如采用适当的极靴宽度和不均匀的气隙长度(磁极中心气隙较小，磁极边缘的气隙较大)、改变励磁绕组的分布范围，**最有效、最直接**
- 从绕组方面：采用**短距**、**分布**绕组
- 从谐波性质：当接成**星形**连接时，在**线电势**中不可能出现**3**次及其**3**的倍数次谐波电势



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 消除和减小高次谐波电势的方法

- **短距**绕组

$$K_{pv} = \cos \frac{v\beta}{2} = 0$$

$$\longrightarrow v\beta = \pi \quad \longrightarrow \beta = \frac{\pi}{v} = \frac{\tau}{v}$$

$$y = (1 - \frac{1}{v})\tau$$

- 为削弱**5**次和**7**次谐波，三相双层短距绕组的短距角一般为 **$(1/5 \sim 1/7)\tau$**



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 消除和减小高次谐波电势的方法

### • 分布绕组

$$q=1 \quad K_{d1} = K_{d3} = K_{d5} = K_{d7} = \dots = 1$$

$$q=2 \quad K_{d1} = 0.965, K_{d3} = 0.707, K_{d5} = 0.259, K_{d7} = -0.259$$

$$q=6 \quad K_{d1} = 0.957, K_{d3} = 0.644, K_{d5} = 0.195, K_{d7} = -0.143$$

### 总结:

采用分布绕组和短距绕组后, 虽然基波电动势有所下降, 但对削弱或消除谐波电动势作用非常明显。



东南大学电气工程学院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 小结

- 交流绕组的组成原则: 获得较大的基波电势, 尽量减少谐波电势, 且保持三相电势对称, 同时考虑节约铜线和具有良好的工艺性
- 分析绕组的基本方法: 槽导体电势星形图。通过槽电势相量的分析可以了解三相绕组的形成和特性
- 交流绕组的型式很多, 应该掌握几种常用三相单层、双层绕组的构成方式和特点。通常小功率电机多采用单层绕组, 功率较大的多为双层短距绕组, 以削弱高次谐波、改善电势和磁势波形。



东南大学电气工程学院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 小结

- 绕组电势的计算公式与变压器线圈电势的相类似。由于绕组型式不同，相电势计算时必须考虑分布因数和节距因数
- 由于气隙磁场并不完全按正弦规律分布，存在谐波电势，对电机运行不利



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

## 作业

➤ 习题： *p. 106-109: 6-2、6-3、6-7*

➤ 要求：

1. 按时交作业，过期不改；
2. 书写认真，文字整齐，不抄题目，用直尺作图。



东南大学电气工程学院  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>